

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh uchycení baterie v rámu elektrokola

Design of battery attachment in the frame of electric bike

Student:

Aleš Filipčík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student: **Aleš Filipčík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Návrh uchycení baterie v rámu elektrokola**
Design of battery attachment in the frame of electric bike

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete nový způsob uchycení baterie v rámu elektrokola. Současné řešení je velmi náročné na kvalitu zpracování a přesnost výroby. V případě nedodržení výrobních tolerancí dochází k praskání úchytu, případně trubky, ke které je úchyt připevněn. Cílem práce je analyzovat současný stav a následně navrhnout nové spolehlivější a výrobně jednodušší, popřípadě i lehčí řešení uchycení. Zpracujte dokumentaci v rozsahu dle zadání vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
KŘÍŽ, Rudolf; Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1994, 254 s. ISBN 80-85827-58-1.
MORAVEC, Vladimír; Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 64 s. ISBN 80-248-0878-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

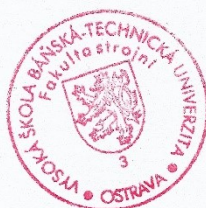
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Sniehotta, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Břidličné dne 18. května 2020



.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠBTUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠBTUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Břidličné dne 18. května 2020



.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Aleš Filipčík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Slunečná 384, Břidličná

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FILIPČÍK, A. *Návrh uchycení baterie v rámu elektrokola: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2020, s. Vedoucí práce: Sniehotta, P

Bakalářská práce se zabývá návrhem uchycení baterie v rámu elektrokola. V první části se je seznámení s elektrokoly od zadavatele práce Superior. Další část se zabývá původním řešením uchycení baterie, jeho pevnostní analýzou a návrhem nového řešení. Následuje optimalizace návrhu a kontrolní výpočtem šroubového spoje. V závěru práce je navržen přípravek pro svařování podpor k rámu elektrokola. Práce obsahuje přílohy s výrobními výkresy podpěry, konzole a sestavného výkresu přípravku pro svařování.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FILIPČÍK, A. *Design of battery attachment in the frame of electric bike: bachelor Thesis*. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, 43 p. Thesis head: Sniehotta, P.

Bachelor thesis is dealing with design of battery attachment on frame of electric bike. In the first part is introduction to e-bikes from thesis submitter Superior. Next part deals with current design of battery attachment, its analysis and design of the new solution. This is followed by optimization and calculation of the screw connection. At the end of the thesis is designed jig for welding console supports to the frame of e-bike. Thesis contains assembly drawing of the new solution, production drawings, of the console support, console and assembly drawing of the welding jig.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Patriku Sniehoffovi, Ph.D., za jeho vedení, iniciativu a rady při řešení této práce.

Obsah

Úvod	11
1. Elektrokola	12
1.1 Druhy elektrokol.....	12
1.1.1 Městská elektrokola	12
1.1.2 Treková elektrokola.....	12
1.1.3 Horská elektrokola	13
2. Pohonný systém	14
2.1 Motorové jednotky	14
2.2 Baterie	14
2.3 Externí umístění baterie.....	15
2.4 Integrované umístění baterie.....	15
3. Řešený model.....	16
3.1 Rám kola	16
3.2 Uchycení baterie původní řešení	17
3.2.1 Konzole původní řešení	18
3.2.2 Podpěra konzole původního řešení	18
4. Analýza původního řešení	20
4.1 Metoda konečných prvků	20
4.2 Pevnostní posouzení sestavy původního řešení	20
4.2.1 Výpočtový model	20
4.2.2 Zatížení sestavy	21
4.2.3 Síť prvků	22
4.2.4 Pevnostní analýza.....	23
5. Návrh řešení	25
5.2 Konzole navrhnutého řešení	25
5.3 Podpěry konzole navrhnutého řešení.....	26
5.4 Pevnostní posouzení návrhu	26
5.4.1 Síť prvků návrhu	27
5.4.2 Pevnostní analýza návrhu	28
5.5 Optimalizace návrhu	29
5.5.1 Pevnostní analýza finálního řešení.....	30
6. Analytický výpočet	32
6.1 Výpočet reakcí.....	32

6.2	Kontrola šroubového spoje.....	33
	Výpočet provozní síly	33
7.	Návrh přípravku pro svařování.....	35
8.	Závěr.....	36
9.	Literatura.....	37
10.	Seznam příloh.....	38

Seznam použitých značek

Značka	Popis	Jednotka
K	koeficient zohledňující dynamické namáhání	[-]
G	tíhová síla	[N]
m	hmotnost baterie	[kg]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
l	osová vzdálenost děr	[mm]
a	vzdálenost těžiště v ose x	[mm]
b	vzdálenost těžiště v ose y'	[mm]
α	úhel sklopení nosníku	[°]
β	úhel naklopení tíhové síly G vůči rovině y'	[°]
$G_{y'}$	složka tíhové síly v ose y'	[N]
$G_{x'}$	složka tíhové síly v ose x'	[N]
M_A	ohybový moment v podpoře A	[Nm]
$R_{by'}$	silová reakce v podpoře b v ose y'	[N]
$R_{bx'}$	silová reakce v podpoře b v ose x'	[N]
$R_{ay'}$	silová reakce v podpoře a v ose y'	[N]
$F_{y'}$	síla v ose y'	[N]
F_p	provozní síla	[N]
F_{p1}	provozní síla na jeden šroub	[N]
F_T	třecí síla	[N]
F_o	osová síla v šroubu	[N]
F	výsledná síla působící ve šroubu	[N]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
σ_t	napětí v tahu	[MPa]
σ_d	dovolené napětí	[Mpa]
S	plocha šroubu	[mm ²]
ψ	úhel stoupání šroubovice	[°]
P	stoupání závitu	[mm]
d_2	střední průměr závitu	[mm]

d_3	malý průměr závitu	[mm]
τ_k	smykové napětí	[MPa]
M_k	kroutící moment	[Nm]
W_k	průřezový modul v krutu	[mm ³]
σ_{red}	redukované napětí	[MPa]
K_S	statická bezpečnost	[-]

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem uchycení baterie pro elektrokola od firmy BIKE FUN International s.r.o. Jedná se o univerzální řešení pro více modelů kol, převážně z řady E-MTB od značky Superior.

Současné řešení je velmi náročné na kvalitu zpracování a přesnost výroby. V případě nedodržení tolerancí dochází k praskání úchytů, případně trubky, ke které je úchyt připevněn.

Řešení zadané úlohy se skládá z několika kroků. V první části je provedena analýza původního řešení za pomoci numerické metody konečných prvků. Dále je navrženo nové řešení uchycení baterie s optimalizací tvaru konzoly. V závěru práce je proveden analytický výpočet šroubového spoje a návrh svařovacího přípravku.

Cílem práce je zanalyzovat původní řešení uchycení baterie firmy Superior. Navrhnout nové jednodušší případně lehčí řešení.

1. Elektrokola

V dnešní době jsou elektrokola čím dál tím populárnější volbou cyklistů. Od původního použití z městského, ekologického dopravního prostředku se díky pokroku technologií v oblasti pohonu a baterii stává plnohodnotné terénní kolo, vhodné i pro sportovní použití.

1.1 Druhy elektrokol

Značka Superior nabízí tři řady elektrokol, které pokryjí konvenční rozdělení klasických jízdních kol.

1.1.1 Městská elektrokola

Elektrokola E-URBAN, viz Obrázek 1.1, jsou určená pro ježdění v klasickém městském provozu. Přednosti této řady jsou lehká a pohodlná konstrukce. Vzhledem k nižší potřebě pomoci s pohonem kola v běžném provozu, je možné osadit úspornější motor s nižším kroutícím momentem, tímto se dosáhne zvýšení dojezdu až na 185 kilometrů. Řada E-URBAN využívá externí umístění baterie na nosiči nad zadním kolem.[1]



Obrázek 1.1 Příklad městského elektrokola Superior SSC 400
<https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-urban/ssc-400/matte-titanium>

1.1.2 Treková elektrokola

Řada E-TOUR Cross/Trekking nabízí elektrokola určená pro delší cestování po pevných asfaltových cestách i mimo ně. Baterie je umístěna na spodním rámu kola. U této řady jsou možné dvě varianty uložení, externí, viz Obrázek 1.2, a integrovaná.[2]



Obrázek 1.2 Příklad trekového elektrokola Superior eRX 690 TOURING
<https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-tour/erx-690-touring/matte-black-reflective-silver>

1.1.3 Horská elektrokola

Horská kola E-MTB se od ostatních řad liší robustní, odpruženou konstrukcí rámu kola a na první pohled zřetelně většími plášti pro jízdu v terénu, viz Obrázek 1.3. Tato řada nabízí nejsilnější elektromotory schopné vyvinout maximální kroutící moment až 70 Nm. Opět zde Superior nabízí externí i integrované umístění baterie, viz Obrázek 1.3.[3]



Obrázek 1.3 Příklad horského elektrokola eXF 909
<https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-mtb/exf-909/matte-black-dark-silver>

2. Pohonný systém

Značka Superior využívá pohonného systému Shimano Steps.

2.1 Motorové jednotky

Jedná se o pohon montovaný v místě šlapátek, který dodává neustálou pomoc při pohonu kola závislou na síle a frekvenci šlapání cyklisty, pohánět čistě jenom elektromotorem není možné. Pokud tedy pojedeme do kopce a budeme vykládat velkou sílu zatím co rychlost a frekvence šlapání bude malá, elektronická jednotka s akcelerometry náš vstup vyhodnotí a motor nám bude pomáhat velkou silou. V případě technicky složitějších povrchů potřebujeme větší záběr a kontrolu nad kolem, motor nám tedy bude pomáhat méně.[4]

Tabulka 1.1 Parametry pohonných systémů Shimano Steps

Model [-]	Výkon [W]	Maximální točivý moment [Nm]	Maximální podpora [%]	Asistenční módy [-]	Dojezd [km]
E8000	250	70	300	Eco/Trail/Boost	100
E7000	250	60	300	Eco/Trail/Boost	100
E6100	250	60 (Sportive) 50 (Comfort)	200	Eco/Normal/High	185
E5000	250	40	200	Eco/Normal/High	185



Obrázek 2.1. Motorové jednotky Shimano Steps

2.2 Baterie

Nejrozšířenějším druhem baterie u elektrokol je baterie Li-Ion. Mají velkou hustotu energie a poměrně nízkou hmotnost v porovnání s rozměry. Baterie se však poškozuje při nesprávném postupu nabíjení, nesmí se nechat úplně vybit a při vysoké zátěži rychle klesá životnost.

Tabulka 1.2 Parametry baterií

Baterie	Napětí [V]	Jmenovitá kapacita [Ah]	Hmotnost [kg]	Energie [Wh]
Shimano BT-E6000	36	11,6	2,55	418
Shimano BT-E6001	36	14	2,65	504
Shimano BT-E8010	36	14	2,6	504
Shimano BT-E8014	36	11,3	2,55	418
Darfon E4C0C	36	14	2,8	504

2.3 Externí umístění baterie

Tahle varianta využívá komplety baterii od firmy Shimano. U řady E-URBAN je umístěná na zadním nosiči kola, viz Obrázek 1.1. Ostatní modely s externím uchycením, E-TOUR a E-MTB, mají externí baterii umístěnou na spodním rámu kola, viz Obrázek 1.2. Nevýhodou této metody je vyšší celková hmotnost, narušení čistého designu a nemožnost připevnění držáku lahví na spodní rám.

2.4 Integrované umístění baterie

Integrované řešení je osazené baterii Darfon E4C0C. Jedná se o lehčí řešení, které nenarušuje čistý vzhled rámu i díky možnosti vedení kabeláže vnitřkem rámu.[5]



Obrázek 2.2 Baterie Darfon E4C0C

<http://www.darfon.com/en/product/18071309102090/18071615475913>

3. Řešený model

V práci budu řešit analýzu původního a návrh nového řešení integrovaného uchycení baterie Darfon v rámu horského kola Superior E-MTB eXF 9049 R, viz Obrázek 3.1.

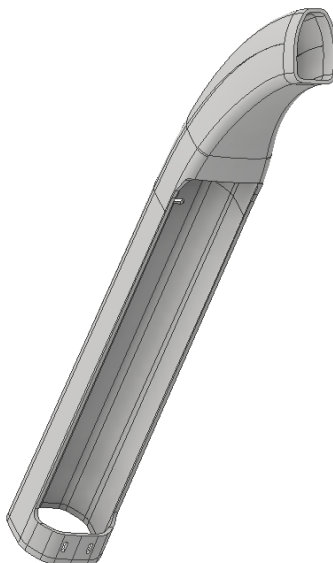


Obrázek 3.1 Elektrokolo SUPERIOR eXF 9049 R

<https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-mtb/exf-9049-r/matte-trooper-green-black>

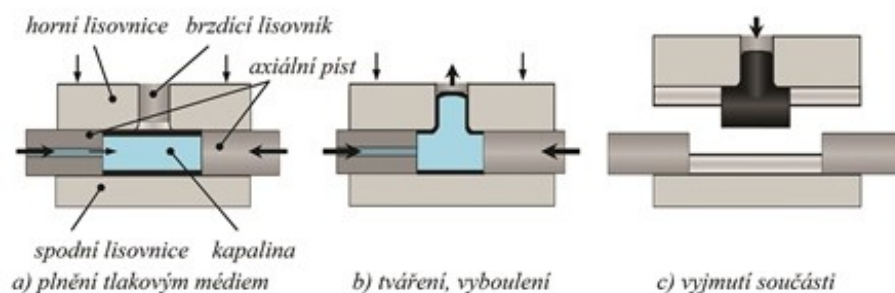
3.1 Rám kola

Rám kola je tvořený trubkou ze slitiny hliníku EN-AW 6061, viz Obrázek 3.2. Tento materiál je velmi rozšířený v oblasti cyklistiky. Využívá se i na výrobu ostatních částí kola například představce, řídítka a sedlovky. Má dobré mechanické vlastnosti, Mez pevnosti $R_m=290$ MPa, Mez kluzu $R_{p0,2}=250$ MPa, Tažnost $A_5=9$ %, dobrou svařitelnost a dobrou obrobiteľnosť. Po svařování se však musí provést umělé stárnutí. Návrat na původní mechanické vlastnosti se poté provádí ohřevem slitiny.[6]



Obrázek 3.2 Model rámu kola

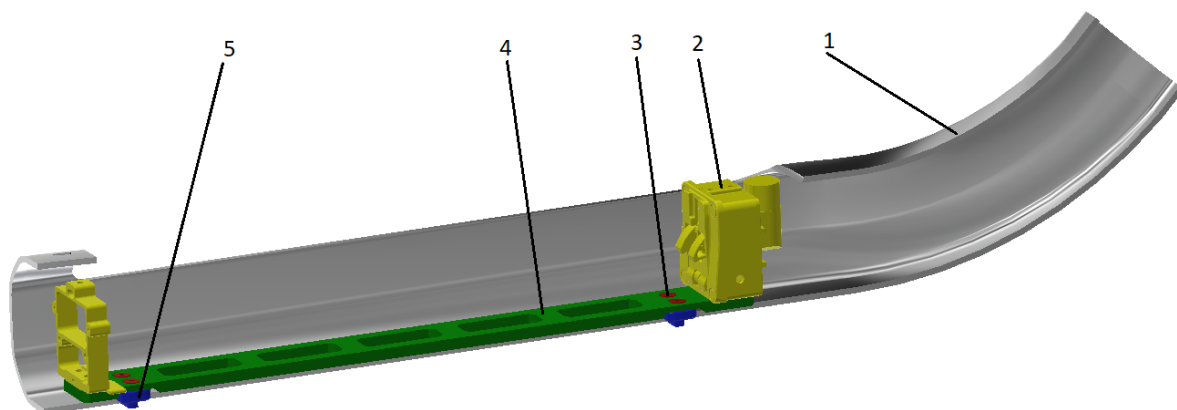
Rám je vyráběn technologií Hydroformování. Jedná se o metodu tváření za využití vody případně hydraulických olejů jakožto hlavního, nebo doprovodného tvářecího média. Díky téhle technologii je možné vyrábět komplikovanější a složitější výlisky než konvenčními metodami. Další výhodou je rovnoměrná deformace výlisku, která přináší zvýšení pevnosti, respektive zvýšení tuhosti výlisku. Jelikož se většina takto vyráběných dílů vyrobí pouze v jedné operaci, náklady na nástroje mohou být sníženy až o 90 %. Princip technologie můžeme vidět na Obr 1.5.[7]



Obrázek 3.3 Princip technologie Hydroformování trubek
<https://www.mmspektrum.com/clanek/kapalina-jako-tvareci-medium.html>

3.2 Uchycení baterie původní řešení

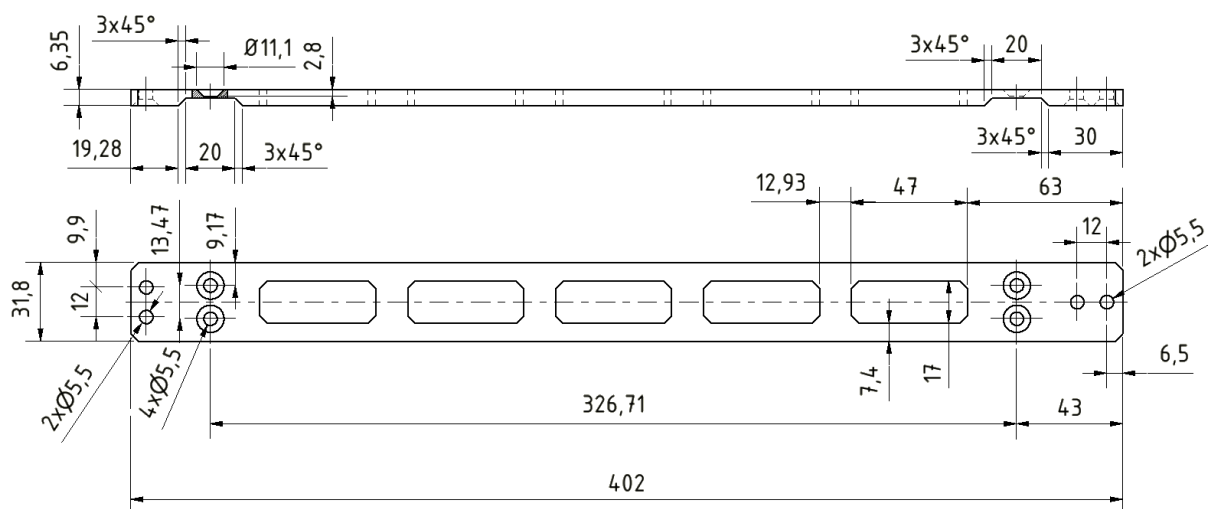
Baterie je uchycená v plastových výliscích s upevňovacím mechanismem v horním výlisku, pozice 2 Obrázek 3.3. Každý výlisk je přišroubovaný dvěma šrouby ISO 10642 ke konzole, pozice 4 Obrázek 3.3, která je spojena se dvěma podpěrami konzole, pozice 5 Obrázek 3.3, šroubovým spojem stejnými šrouby, pozice 3 Obrázek 3.3. Podpěry jsou s rámem elektrokola spojeny svařem. Pro přehlednost není na schématu zobrazen kryt baterie.[8]



Obrázek 3.3 Řez rámem kola, původní řešení

3.2.1 Konzole původní řešení

Konzole, pozice 4 Obrázek 3.3, je vyrobena ze slitiny hliníku EN-AW 6061. Jedná se o výstřižek z plechu tloušťky 6,35 mm. Rozměry konzole jsou uvedeny na Obrázku 3.4.

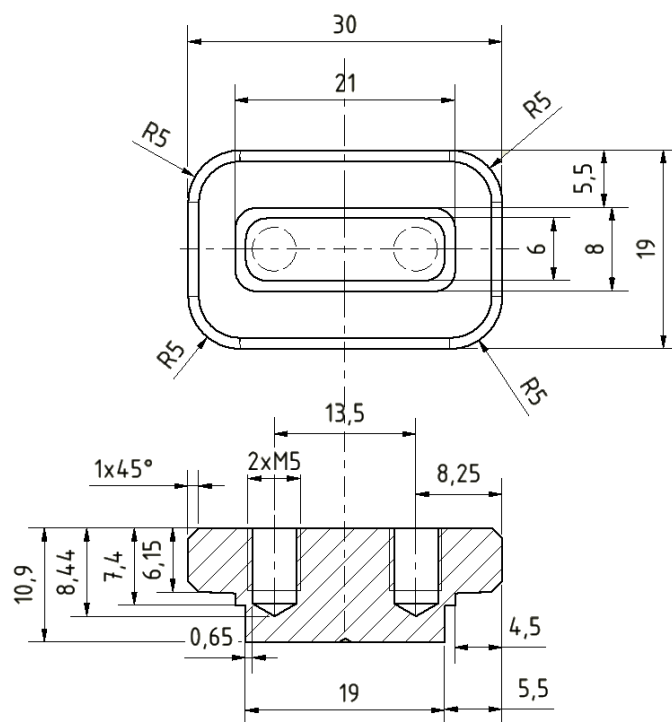


Obrázek 3.4 Rozměry konzole původního řešení

Konzole je opatřena osmi dírami průměru 5,5 mm pro šrouby s kuželovou hlavou pro možnost uchycení výlisků zobrazených na pozici 2 na obrázku 3.3. a samotné uchycení konzole k podporám, pozice 5 Obrázek 3.3, k rámu kola. Po celé délce se nachází odlehčovací otvory obdélníkového tvaru 47×17 mm s vnitřním zkosením 3×45°. Pro nižší stavěcí výšku baterie, jsou v oblasti podpěr vyfrézované drážky.

3.2.2 Podpěra konzole původního řešení

Podpěry vyobrazené na pozici 5 Obrázek 3.3 jsou stejně jako konzole vyráběny ze slitiny hliníku EN-AW 6061. K rámu elektrokola jsou přichycené svarovým spojením. Právě v oblasti tohoto spojení dochází k praskání rámu.



Obrázek 3.5 Rozměry podpěry konzole původního řešení

Pro jednodušší svařování je podpěra navržena s přesahem, který se po svařování ze hřbetu rámu elektrokola odbrušuje.

4. Analýza původního řešení

Jelikož se sestava skládá z tvarově složitých součástí zvolil jsem analýzu uchycení baterie pomocí numerických metod.

Numerický výpočet jsem provedl pomocí pevnostní analýzy v programu Autodesk Inventor. Z výpočtů jsem vyloučil kryt baterie v rámu elektrokola za účelem ulehčení a zrychlení výpočtů, toto jsem si mohl dovolit, jelikož nepřítomnost součásti krytu neměla na výsledek velký vliv.

Jelikož se jedná o nezjednodušené modely součástí jedná se o metodu výpočtu pomocí objemových prvků. Tato metoda je časově náročnější, ale vzhledem k malému počtu součástí je doba výpočtu přijatelná.

4.1 Metoda konečných prvků

Pro výpočet jsem použil metodu konečných prvků. Tato metoda spočívá v rozdělení počítané součásti na menší části, které nazýváme konečnými prvky, popřípadě elementy. Elementy jsou spojeny v uzlech, aby při sestavení celku byly zajištěna kompatibilita modelu.

Pro výpočet metodou konečných prvků musíme určit způsob uložení a zatížení počítaných součástí. Zatížení může působit v bodě, nebo spojitě na plochu, hranu či celou sestavu. Tento krok je důležitý, jelikož se jedná o omezení stupňů volnosti počítaného modelu.

Pro správný výpočet je důležité dobře sestavená síť konečných prvků vzhledem k velikosti a tvaru součástí.

4.2 Pevnostní posouzení sestavy původního řešení

Tuto analýzu jsem provedl na modelu poskytnutém firmou Superior. Jelikož by výpočet na dynamické namáhání byl příliš náročný, kontroluji sestavu pouze na statické namáhání s přídatným bezpečnostním koeficientem $k=5$.

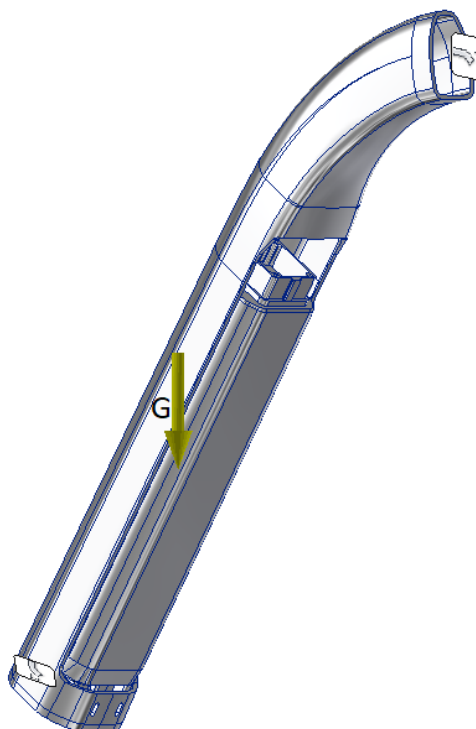
4.2.1 Výpočtový model



Obrázek 4.1 Model pro analýzu ve výchozí poloze

Na Obrázku 4.1 vidíme model pro simulaci metodou konečných prvků. Sestava je ve výchozí poloze při montáži rámu.

4.2.2 Zatížení sestavy



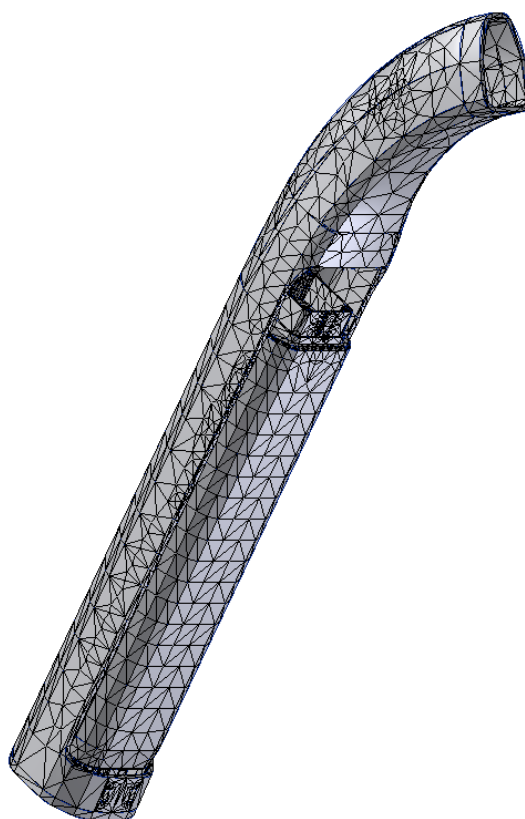
Obrázek 4.2 Znáznornění zatížení a vazeb sestavy

Uchycení je zatížené tíhovou silou baterie G . Hmotnost baterie je 5 kilogramů. Pro zohlednění dynamičnosti sestavy tuto tíhovou sílu vynásobím bezpečností $k=5$.

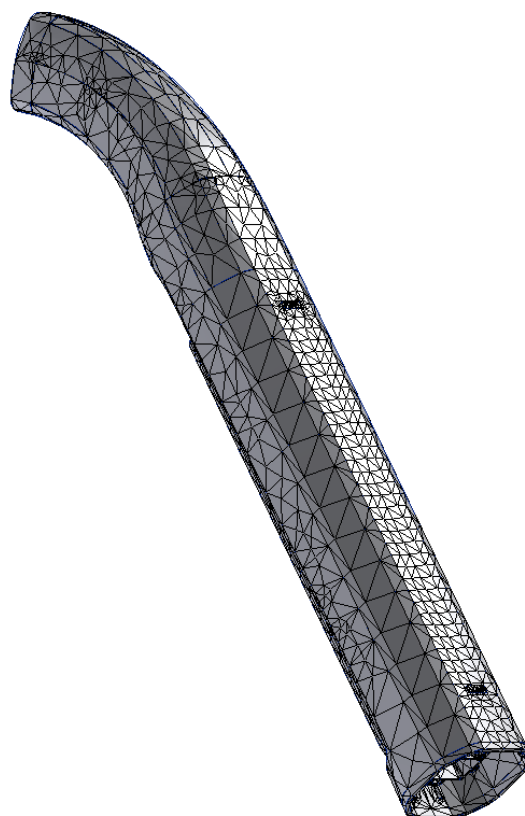
$$G = m \cdot g \cdot k = 5 \cdot 9,81 \cdot 5 = 245,25 \text{ N} \quad (4.1)$$

Rám jsem zajistil pevnou vazbou na koncích rámu, jelikož v těchto místech po sestavení celého rámu kola budou se budou nacházet svarové spoje.

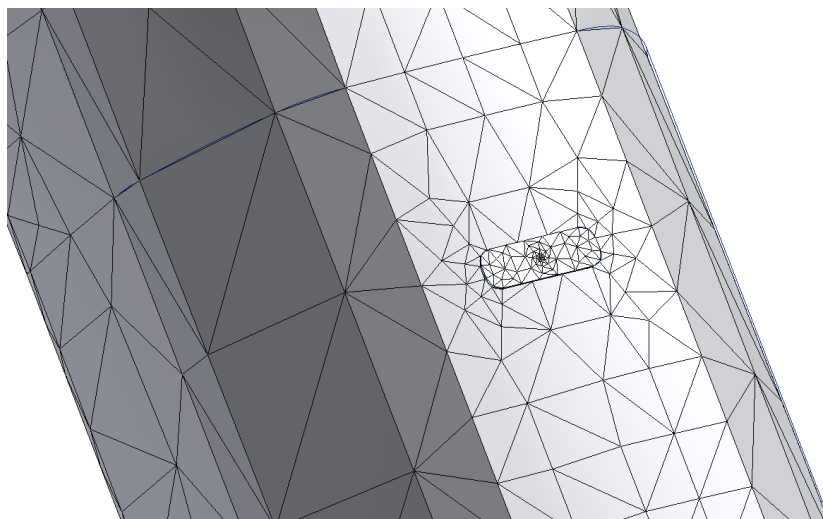
4.2.3 Sít prvků



Obrázek 4.3 Pohled na sít prvků přední strana



Obrázek 4.4 Pohled na sít prvků zadní strana

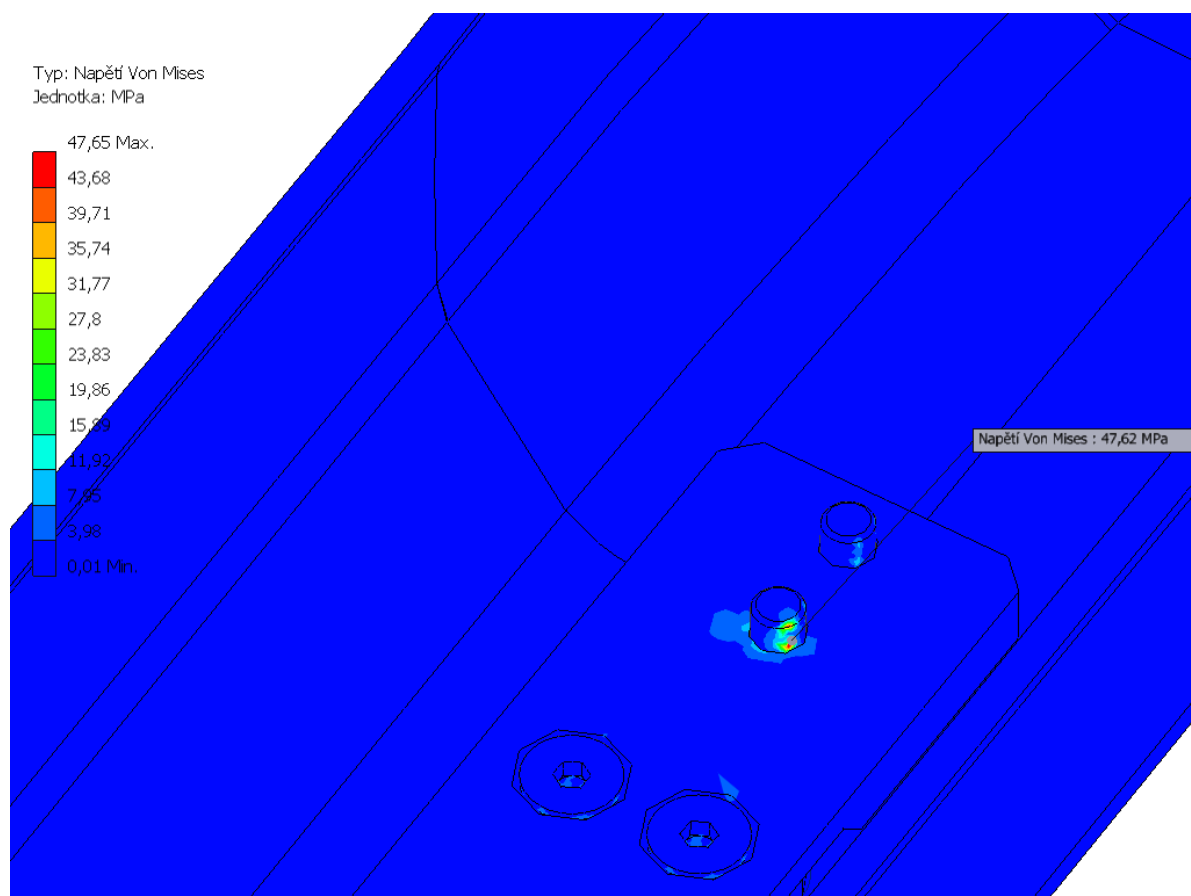


Obrázek 4.5 Detail sítě svarového spoje podpěry s rámem

Automaticky vygenerovanou síť jsem upravil na ploše rámu, kde je podpora svařená s rámem elektrokola, jelikož zde očekávám koncentraci napětí.

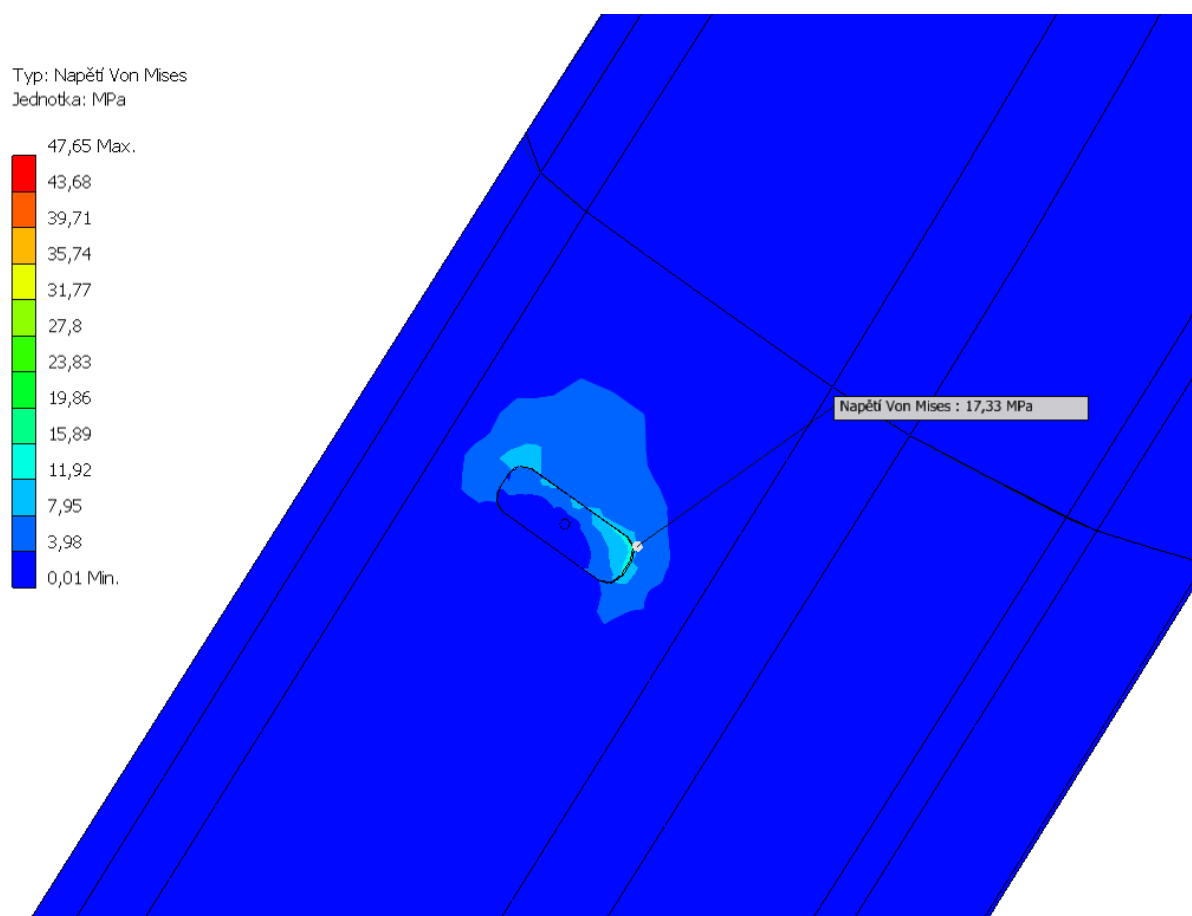
4.2.4 Pevnostní analýza

Na Obrázku 4.6 je vyobrazen průběh největšího napětí pomocí kritéria von Mises, jedná se o šroubový spoj mezi výliskem pro uchycení baterie a konzolí. Vypočítaná maximální hodnota se rovná 47,65 MPa, jelikož se jedná o pevnostní šroub M5 ISO 10642 8.8 je toto namáhání vyhovující.



Obrázek 4.6 Největší koncentrace napětí von Mises

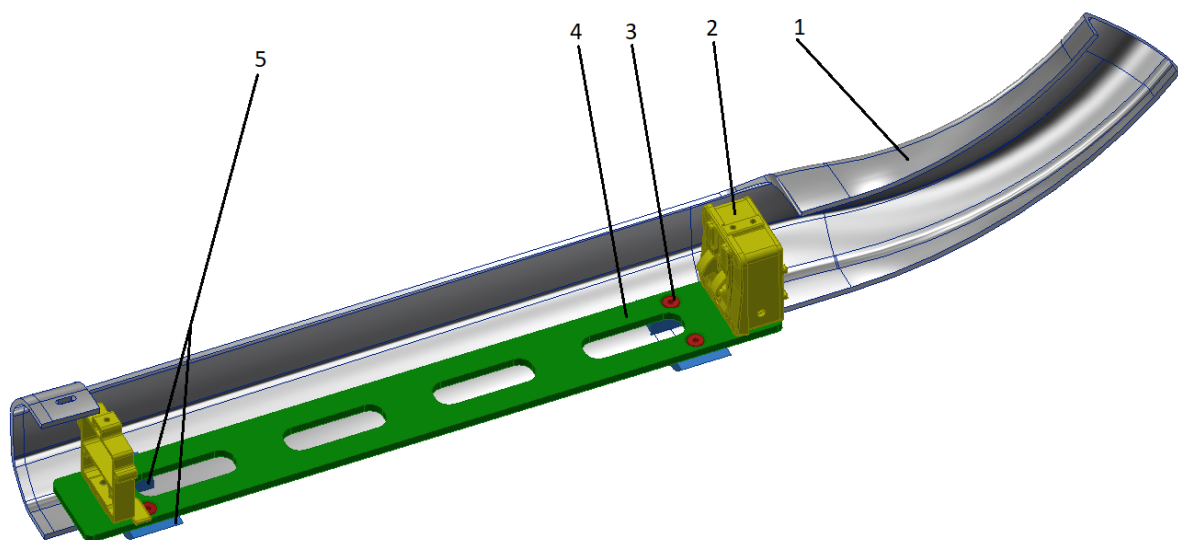
Další zajímavou oblastí je místo svarového spoje podpěry konzole a rámu elektrokola. Na Obrázku 4.7 vidíme, že dle předpokladů se zde nachází koncentrace napětí. Vypočítané napětí ve svaru 17,33 MPa.



Obrázek 4.7 Detail koncentrace napětí v místě svaru

5. Návrh řešení

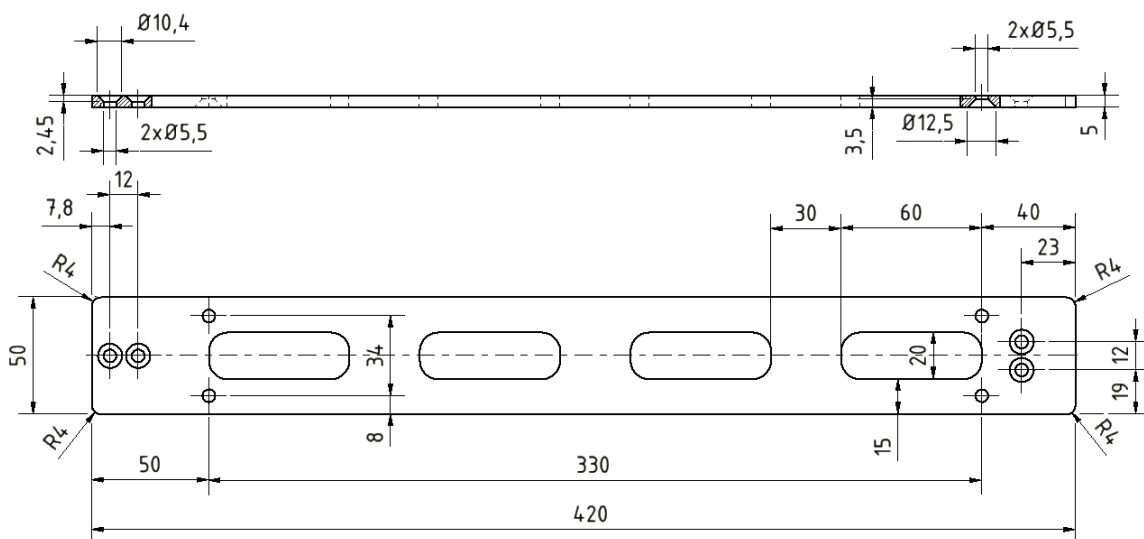
Můj návrh konstrukčního řešení je zobrazen na Obrázku 5.1. Při návrhu jsem využil původní konstrukci výlisků pro uchycení baterie na konzoly, pozice 2 Obrázek 5.1. Hlavní změnou od původního řešení je úprava podpěr konzole, pozice 5 Obrázek 5.1, které nyní neprocházejí rámem elektrokola a jsou svařeny koutovým svařem na vnitřní stěně rámu. Pro možnost vedení kabeláže musí být podpěry rozděleny. Konzole, pozice 4 Obrázek 5.1, je k podpěrám připevněna šrouby M5 ISO 10642, pozice 3 Obrázek 5.1.



Obrázek 5.1 Řez rámem kola, návrh konstrukčního řešení

5.2 Konzole navrhnutého řešení

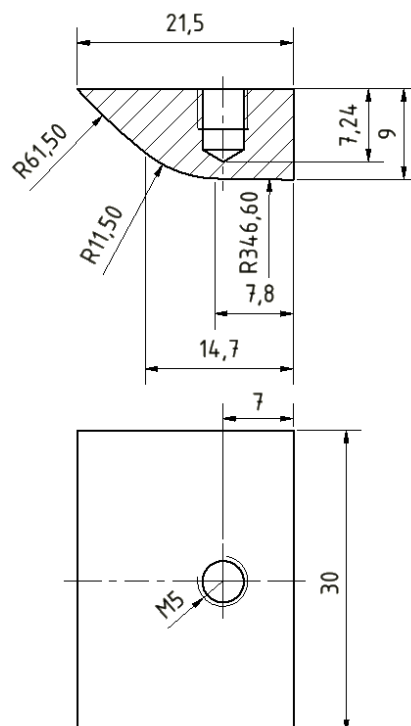
Konzole, pozice 4 Obrázek 5.1, je výstřižek z plechu tloušťky 5 mm ze slitiny hliníku EN-AW 6061. Rozměry jsou znázorněné na Obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 Rozměry návrhu konzole

5.3 Podpěry konzole navrhnutého řešení

Podpěry konzole jsou umístěny ve vnitřním zaoblení rámu. Pro uchycení jsem zvolil koutový svar. Materiál podpěr jsem opět volil EN-AW 6061. Rozměry podpěr můžeme vidět na Obrázku 5.3



Obrázek 5.3 Rozměry návrhu podpěry

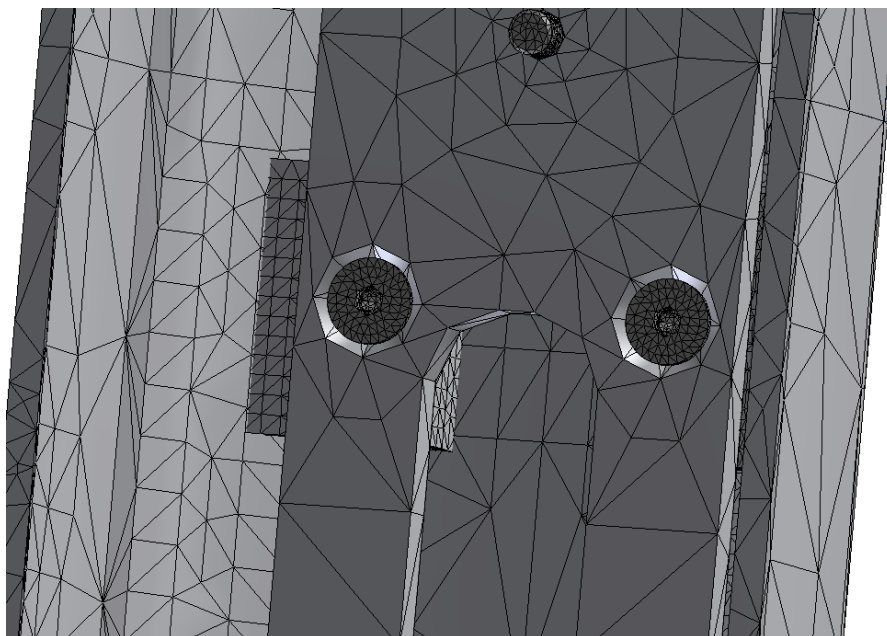
5.4 Pevnostní posouzení návrhu

Pro výpočet jsem opět využil metodu konečných prvků. Analýzu jsem prováděl na stejném modelu z kapitoly 4.2.1 s tím, že jsem nahradil původní řešení uchycení mým návrhem. Nastavení zatížení a zajištění modelu jsem provedl dle kapitoly 4.2.2.

5.4.1 Síť prvků návrhu



Obrázek 5.4 Pohled na síť prvků návrhu, baterie skrytá

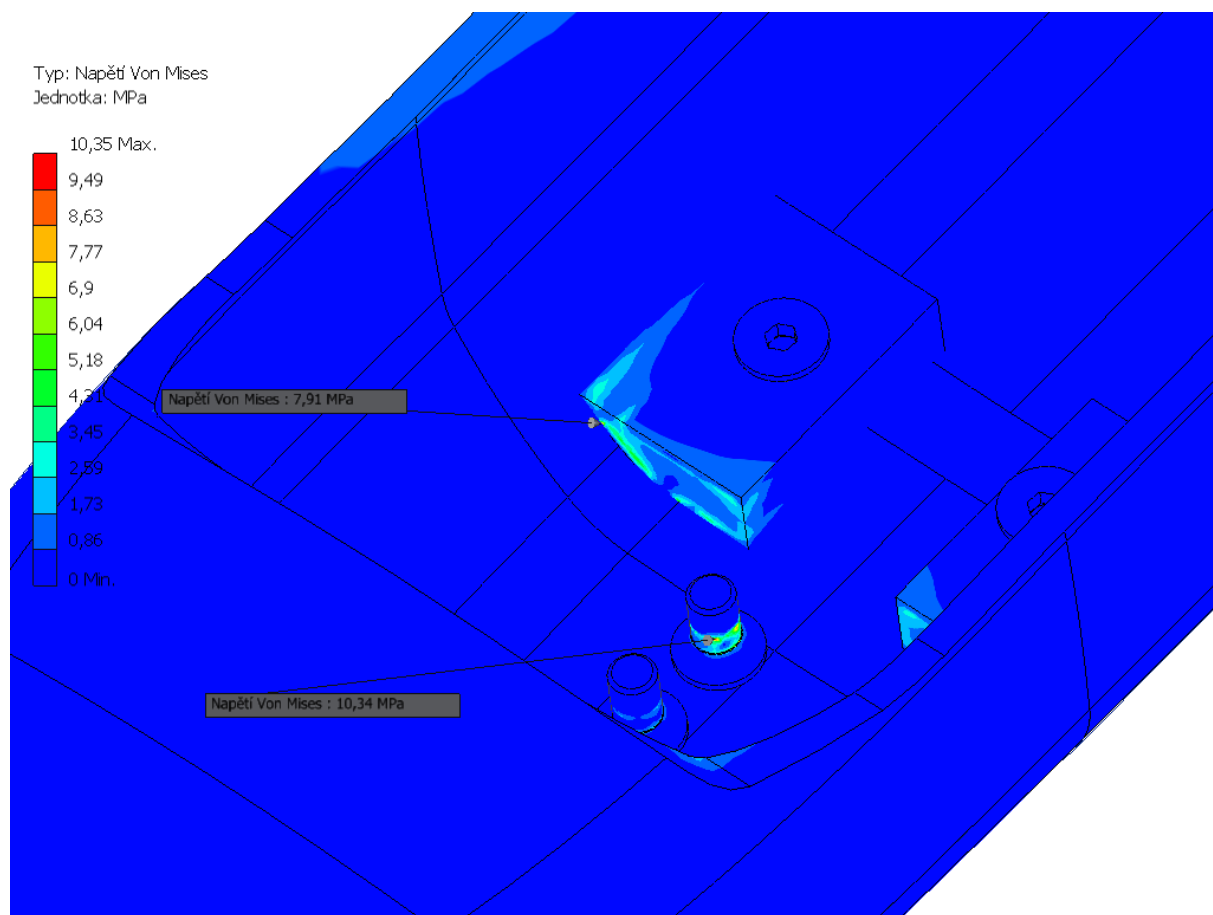


Obrázek 5.5 Detail sítě návrhu oblast svaru

Síť vygenerována automaticky, v oblasti svarů jsem síť zjemnil pro přesnější výsledky, Obrázek 5.5.

5.4.2 Pevnostní analýza návrhu

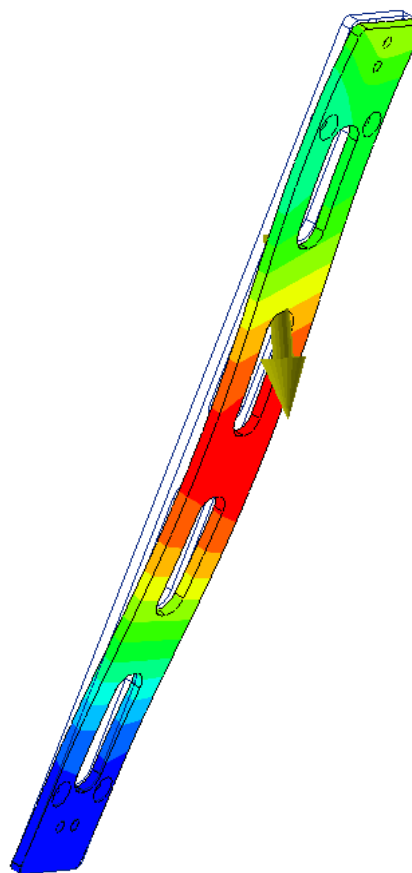
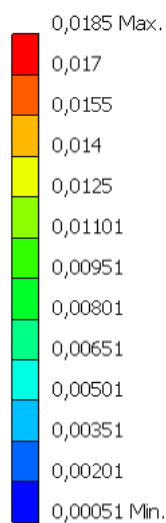
Na Obrázku 5.6 můžeme vidět průběh napětí pomocí kritéria von Mises. Nejvyšší napětí 10,34MPa se opět nachází na šroubu M5 ISO 10642 8.8, také je zde vidět koncentrace napětí v oblasti svaru. Výsledky napětí jsou vyhovující.



Obrázek 5.6 Nejvyšší napětí von Mises v modelu návrhu

Po výpočtu napětí dle kritéria von Mises jsem vypočítal deformaci konzole. Na Obrázku 5.7 můžeme vidět, že maximální deformace je pouhých 0,018 mm což je zanedbatelná hodnota. Vyobrazené deformace nejsou reálné, jsou zobrazené v měřítku pro znázornění způsobu deformace součástí.

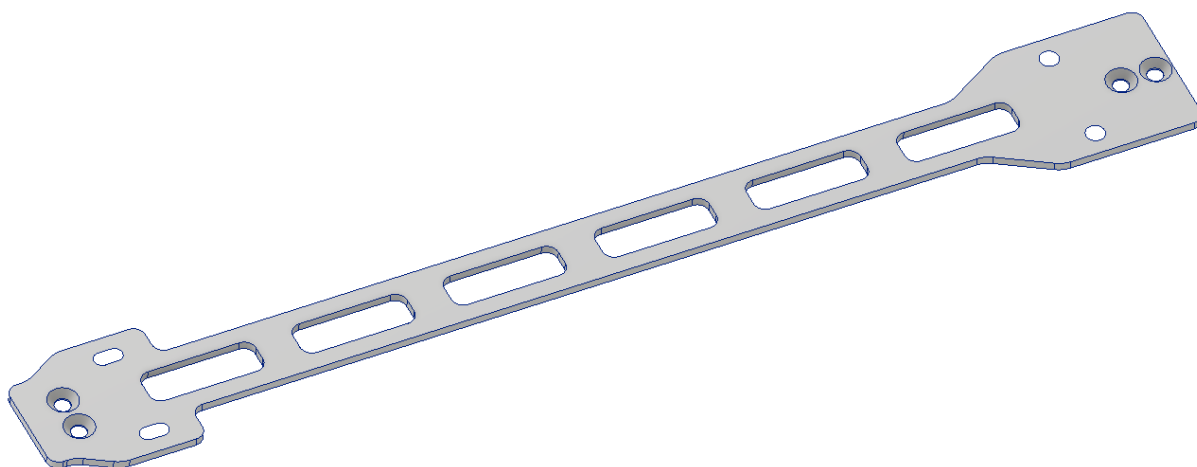
Typ: Posunutí
Jednotka: mm



Obrázek 5.7 Deformace navržené konzole

5.5 Optimalizace návrhu

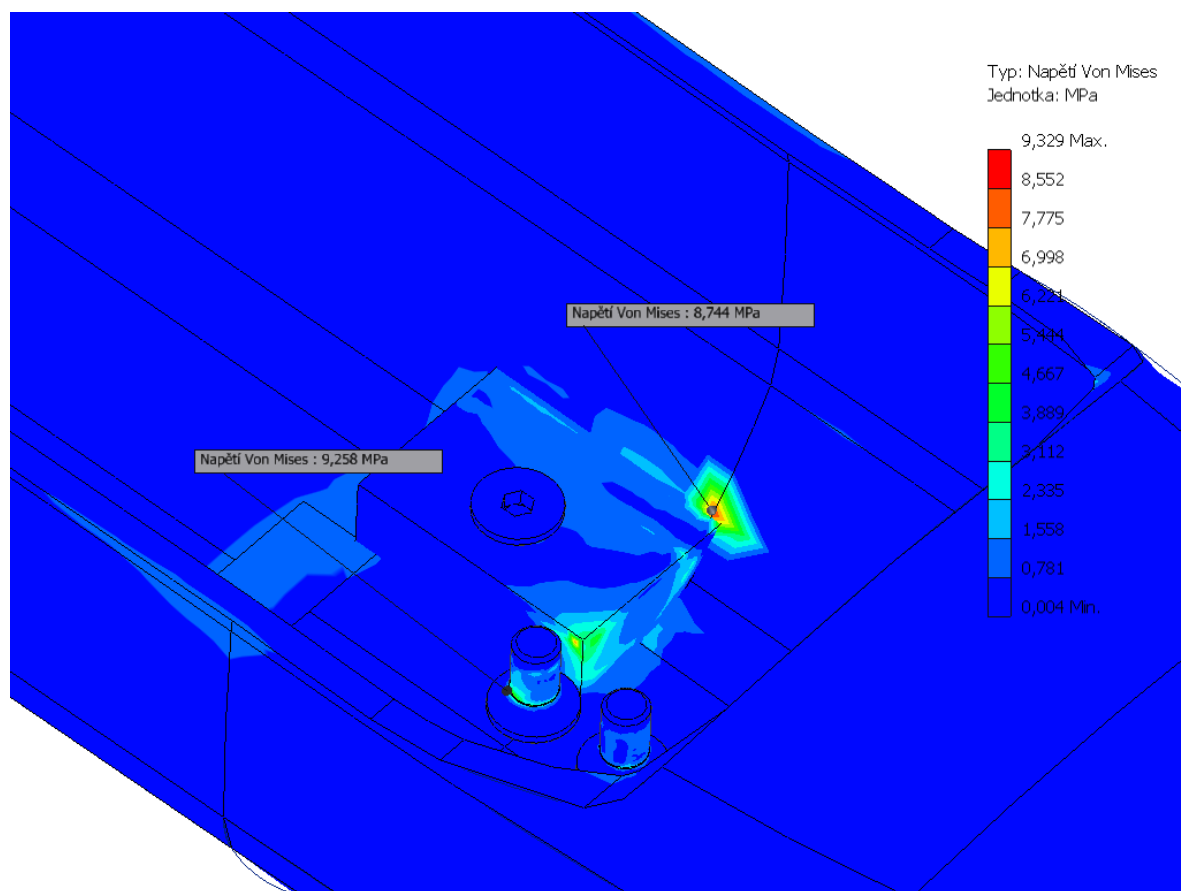
Vzhledem k dobrým výsledkům je možné tvar konzole optimalizovat. Pro snížení hmotnosti jsem zvolil plech tloušťky 3 mm. Na koncích a středu konzole jsem ubral přebytečný materiál, dále jsem přidal více odlehčovacích otvorů. Pro lepší smontovatelnost jsem místo otvorů pro šrouby ve spodní části konzole zaměnil za drážkové otvory, Obrázek 5.7. Rozměry konzole vidíme v příloze 2 Výrobní výkres konzole.



Obrázek 5.8 Náhled optimalizovaného tvaru konzole

5.5.1 Pevnostní analýza finálního řešení

Pro pevnostní analýzu finálního řešení jsem použil stejný model a síť jako v kapitole 5.4.2, v sestavě jsem pouze vyměnil součást konzole. Na Obrázku 5.9 lze vidět, že úpravy tvaru konzole neměly na napětí v kritických místech velký vliv. Hodnoty jsou stále velmi nízké.

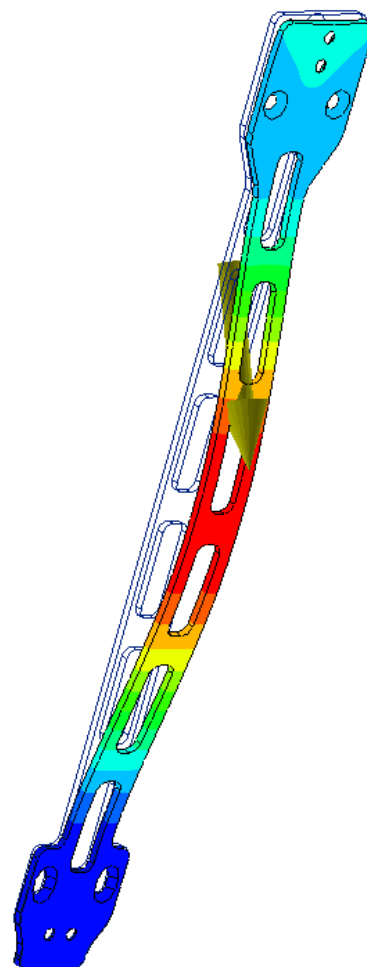
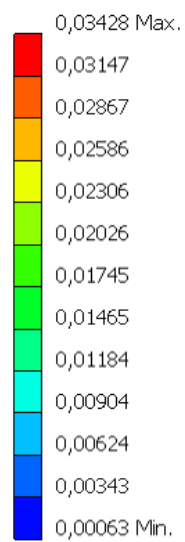


Obrázek 5.9 Detail napětí von Mises, finální návrh

Dále je potřeba zkontrolovat deformaci optimalizovaného návrhu konzole.

Na Obrázku 5.10 je vidět, že se deformace vlivem změny tvaru zvýšila. Jedná se stále, ale o malou deformaci 0,03 mm. Optimalizací se povedlo odlehčit konstrukci o 0,315 kg.

Typ: Posunutí
Jednotka: mm



Obrázek 5.10 Deformace finální návrh konzole

6. Analytický výpočet

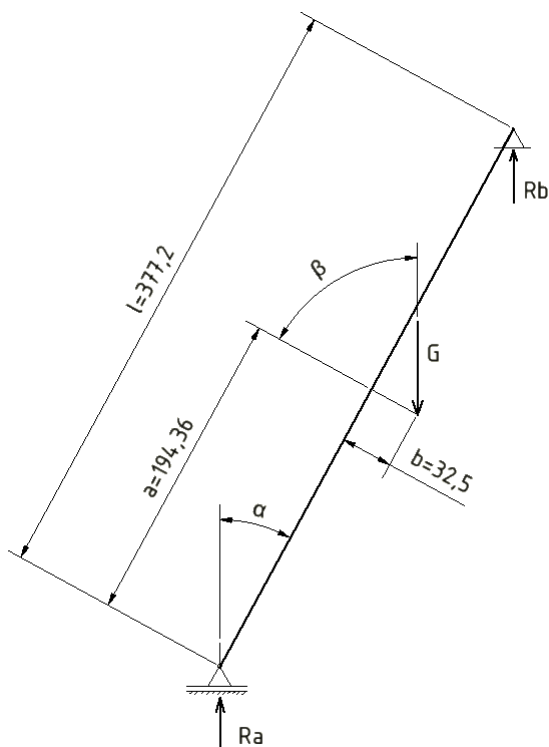
V této kapitole vypočítám reakce působící na šrouby a následně statickou bezpečnost šroubu.

6.1 Výpočet reakcí

Zatížení vyvolává tíhová síla G v těžišti baterie, kterou jsem si již určil v kapitole 4.2.2.

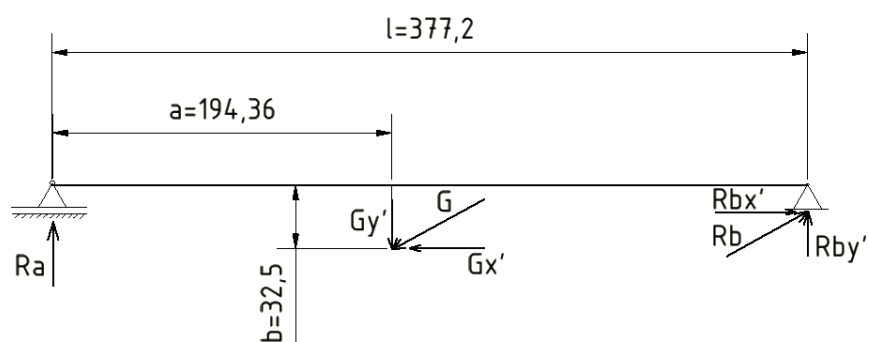
$$G = 245,25 \text{ N}$$

Délka baterie $l=377,2$ mm, vzdálenost těžiště v ose x $a=194,36$ mm, vzdálenost těžiště v ose y' $b=32,5$ mm. Úhel sklopení nosníku $\alpha=28,65^\circ$, úhel naklopení tíhové síly G vůči rovině y' $\beta=61,35^\circ$.



Obrázek 6.1 Schéma konzole

Konzoly sklopím do roviny $x'y'$



Obrázek 6.2 Sklopené schéma konzole do roviny $x'y'$

Výpočet složek tíhové síly

$$G_{y'} = \sin\beta \cdot G = \sin 61,35^\circ \cdot 245,25 = 215,22 \text{ N} \quad (6.1)$$

$$G_{x'} = \cos\beta \cdot G = \cos 61,35^\circ \cdot 245,25 = 117,58 \text{ N} \quad (6.2)$$

Výpočet reakcí

$$\sum M_A = 0 \quad (6.3)$$

$$G_{y'} \cdot a - R_{by'} \cdot l + G_{x'} \cdot b = 0$$

$$R_{by'} = \frac{G_{y'} \cdot a + G_{x'} \cdot b}{l} = \frac{215,22 \cdot 194,36 + 117,58 \cdot 32,5}{377,2} = 121,03 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \quad (6.4)$$

$$R_{ay'} \cdot l - G_{y'} \cdot (l - a) + G_{x'} \cdot b = 0$$

$$R_{ay'} = \frac{G_{y'} \cdot (l - a) - G_{x'} \cdot b}{l} = \frac{215,22 \cdot (377,2 - 194,36) - 117,58 \cdot 32,5}{377,2} = 94,19 \text{ N}$$

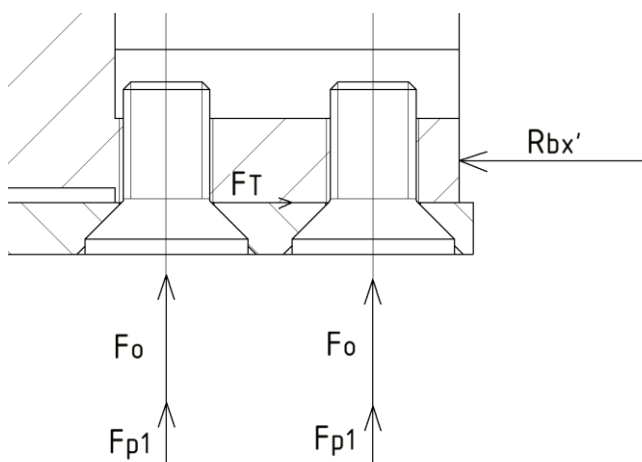
Kontrola

$$\sum F_{y'} = 0 \rightarrow R_{ay'} - G_{y'} + R_{by'} = 94,19 - 215,22 + 121,03 = 0 \quad (6.5)$$

Kontrola splněna.

6.2 Kontrola šroubového spoje

Budu kontrolovat šroubový spoj v místě největší reakce. Kontrolovaný šroub M5 ISO 10642 8.8



Obrázek 6.3 Schéma působení sil na šroubový spoj

Výpočet provozní síly

$$F_p = R_{by'} = 121,02 \text{ N} \quad (6.6)$$

Výpočet provozní síly připadající na jeden šroub

$$F_{p1} = 1,2 \cdot \frac{F_p}{i} = 1,2 \cdot \frac{121,02}{2} = 72,61 \text{ N} \quad (6.7)$$

1,2... nerovnoměrnost utážení šroubu

Výpočet potřebné síly F_0

Podmínka proti prokluzu

$$R_{by'} \leq F_T \quad (6.8)$$

$$R_{by'} = F_0 \cdot f \rightarrow F_0 = \frac{R_{by'}}{0,3} = \frac{121,02}{0,3} = 403,4 \text{ N}$$

Celková síla působící na šroub

$$F = F_0 + F_{p1} = 403,4 + 72,61 = 476,01 \text{ N} \quad (6.9)$$

Výpočet namáhání v tlaku:

$$R_e = 640 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{476,01}{\pi \cdot \left(\frac{4,019}{2}\right)^2} = 37,52 \text{ MPa} \quad (6.10)$$

Výpočet úhlu stoupání šroubovice

$$\psi = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{0,8}{\pi \cdot 4,48} = 3,253^\circ \quad (6.11)$$

Výpočet třecího úhlu:

$$\alpha = 30^\circ$$

 $f_z = 0,3$ - součinitel smykového tření

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,3}{\cos 15^\circ} = 17,25^\circ \quad (6.12)$$

Výpočet smykového napětí:

$$\tau_k = \frac{M_K}{W_K} = \frac{F \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \quad (6.13)$$

$$\tau_k = \frac{476,01 \cdot \operatorname{tg}(3,253^\circ + 17,25^\circ) \cdot \frac{4,48}{2}}{\frac{\pi \cdot 4,019^3}{16}} = 31,28 \text{ MPa}$$

Výpočet Guestovy pevnostní hypotézy:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau_k^2} = \sqrt{37,52^2 + 4 \cdot 31,28^2} = 72,94 \text{ MPa} \quad (6.14)$$

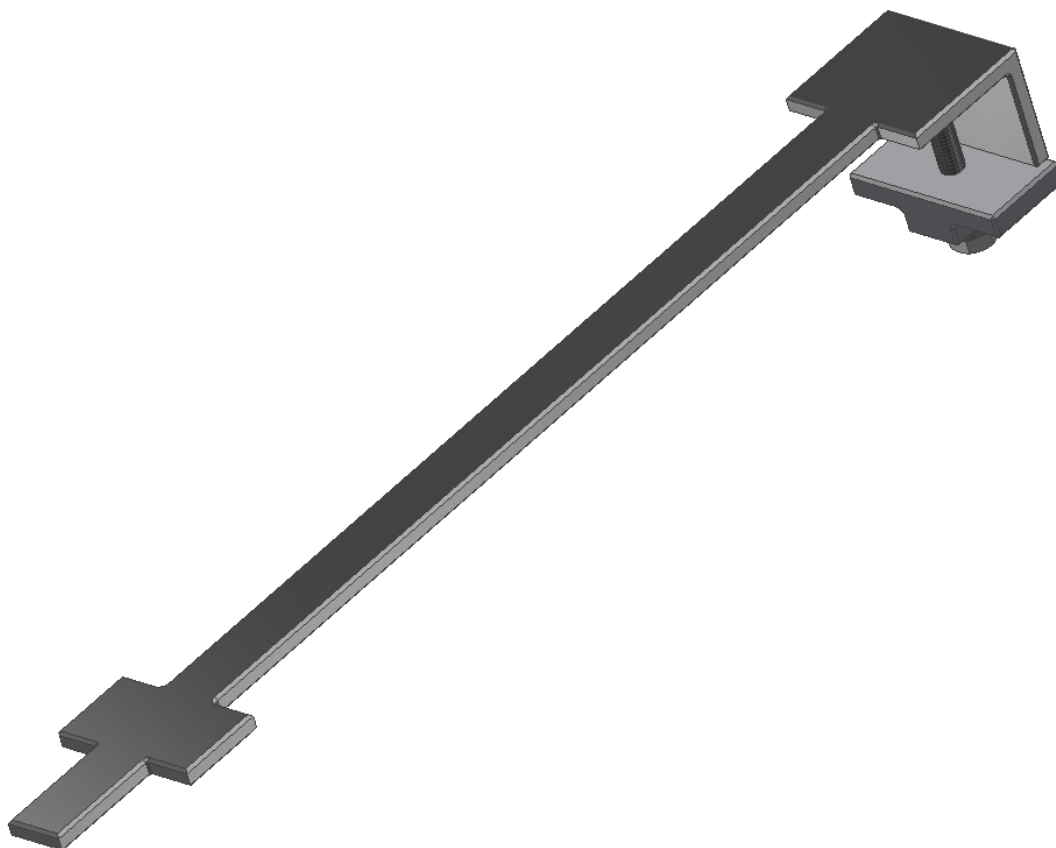
Výpočet statické bezpečnosti

$$K_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{640}{72,94} = 8,77 \quad (6.15)$$

Šroubový spoj vyhovuje.

7. Návrh přípravku pro svařování

Konstrukci přípravku jsem navrhl jako svařenec z ohýbané tyče ploché 56x8 h11 - ČSN 42 6522 - 11 373 s obrobeným blokem se závitovou dírou M8. Přípravek se nasune do rámu elektrokola na doraz, poté se upevní pomocí šroubu M8-55 ISO 4017 k rámu kola. Následně se vloží podpory konzole a svaří se s rámem. Po uvolnění šroubu se přípravek vyjme a dokončí se svarový spoj podpory a rámu kola.[9]



Obrázek 7.1 Model přípravku pro svařování podpěr

8. Závěr

Předmětem této bakalářské práce je analýza původního řešení uchycení baterie v rámu elektrokola firmy Superior a návrh nového, jednoduššího případně lehčího řešení. Analýza původního i nového řešení je provedena numerickými metodami v programu Autodesk Inventor. Pro složitost výpočtů na dynamické namáhání, byla úloha řešena pouze staticky s koeficientem $k=5$ zohledňující zanedbání dynamického zatížení. Konstrukce je zatížena tíhovou silou od baterie $G=245,25\text{ N}$. Ve všech počítaných variantách se maximální napětí podle kritéria von Mises nacházelo ve šroubovém spoji v horní části konzoly.

Při navrhování konstrukce nového řešení, byla zvolena slitina hliníku EN-AW 6061 pro své dobré mechanické vlastnosti a nízkou hmotnost. Z původního řešení byly použity plastové výlisky s mechanismem pro uchycení baterie a šrouby ISO 10642. Po návrhu prvního řešení, byla vypočítaná deformace na konzoly pouhých $0,018\text{ mm}$. Návrh tedy vyhovoval a optimalizací se povedlo ušetřit $0,315\text{ kg}$ z celkové hmotnosti.

Jelikož v každém návrhu se nacházeli maximální napětí ve šroubových spojích, provedl jsem analytický výpočet šroubového spoje. Výsledná statická bezpečnost šroubu vyšla $K_s=8,77$.

Jako poslední krok byl navržen přípravek pro svařování podpor konzoly k rámu elektrokola.

Cíle této práce byly splněny.

9. Literatura

- [1] „Superiorbikes,“. [online]. Copyright © 2020 BIKE FUN International. Všechna práva vyhrazena. [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-urban>
- [2] „Superiorbikes,“. [online]. Copyright © 2020 BIKE FUN International. Všechna práva vyhrazena. [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-tour>
- [3] „Superiorbikes,“. [online]. Copyright © 2020 BIKE FUN International. Všechna práva vyhrazena. [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://superiorbikes.eu/cz/2020/e-mtb>
- [4] „SHIMANO STEPS,“ – the e-bike system for city, trekking and MTB. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2020 [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://www.shimano-steps.com/e-bikes/europe/en>
- [5] E-bike Battery-Battery Pack-DARFON. DARFON [online]. Copyright ©2018 [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <http://www.darfon.com/en/product/18071309102090/18071615475913>
- [6] Tabulka slitin | Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o.. Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o. [online]. Copyright © 2020, Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o. [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [7] Kapalina jako tvářecí medium. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2020 www.mmspektrum.com [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kapalina-jako-tvareci-medium.html>
- [8] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. Strojnické tabulky pro školu a praxi. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
- [9] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. Strojnické tabulky: pro školu a praxi. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-20-3.

10. Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres sestavy rámu elektrokola

Příloha 2 – Výkres Konzoly

Příloha 3 – Výkres podpěry konzoly

Příloha 4 – Výkres sestavy Přípravku na obrábění